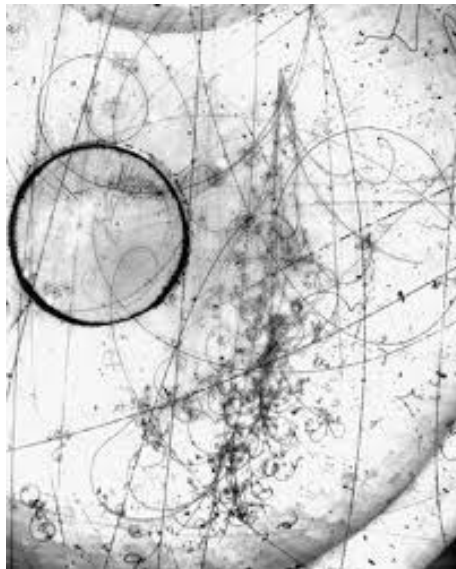




Detección de la Radiación Ionizante

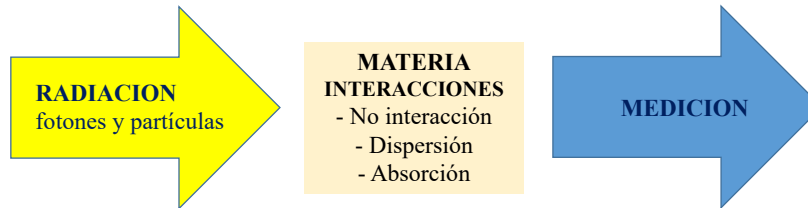
MsC. Eduardo Carrasco Solis

Aspectos Físicos



Definición y Fundamentos

En los detectores se usan las interacciones entre la radiación y la materia para medir propiedades de la radiación



La radiación interactúa con la materia mediante diversos procesos, cuyos efectos finales son:

IONIZACIÓN DE LA MATERIA CON CREACIÓN DE CARGA

Medida de la corriente o impulso de voltaje

EXCITACIÓN DE LUMINISCENCIA

Medida de la intensidad de la luz

DISOCIACIÓN DE LA MATERIA

Medida de alteraciones en la constitución

EFFECTOS

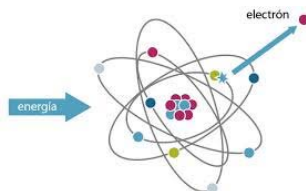
- físicos
- químicos
- electrónicos
- ópticos

Clasificación

Por el tipo de material sensible

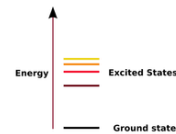
Ionización

- Geiger Müller
- Contador Proporcional
- Cámara de Ionización
- Semiconductores



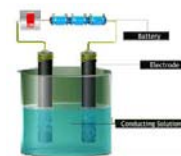
Excitación de átomos

- Placas Fotográficas



Efectos Químicos

- Centelladores
- Termoluminiscentes
- Ópticamente Estimulados



Clasificación

POR EL TIPO DE INTERACCIÓN

GASEOSOS

- Geiger Müller
- Contador Proporcional
- Cámara de Ionización



LIQUIDOS

- LHe, LAr, etc.

SOLIDOS

- Centelladores
- Termoluminiscentes
- Ópticamente estimulados
- Semiconductores
- Películas fotográficas



Resumen Histórico

FOTOGRAFIA DE RAYOS-X

(W. Roentgen **1895**) AgBr, barato, alta resolución.

DOSIMETRIA FOTOGRAFICA (1942)

Desarrollo de nuevas emulsiones.

CENTELLADORES

ZnS (**1930**). + fotomultiplicador (**1940**).

DETECTORES GASEOSOS (1900-1950) uso en laboratorio, baratos, lentos.

- Cámara de ionización (**1900**)
- Contador Proporcional
- Contador Geiger-Muller (**1908**)

DETECTORES SEMICONDUCTORES (1960) Si, Ge

CAMARA DE MULTIALAMBRE (Charpak, 1968)

señal eléctrica digitalizable

DETECTORES TERMOLUMINISCENTES

DETECTORES OPTICAMENTEESTIMULADO

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS DETECTORES



Película Fotográfica

PRIMER DETECTOR DE RADIACION

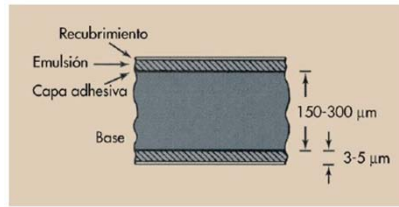


- On November 8, 1895 Röntgen discovered X-Rays
- On November 22, 1895 he takes the first image of his wife's hand

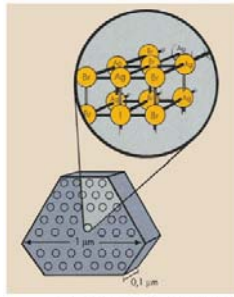


Röntgen received the first Nobel prize in physics in 1901

Principio de Funcionamiento



Sección transversal de una película radiográfica. La mayor parte de la película se encuentra en la base. La emulsión contiene la imagen médica.



Ejemplo de cristal de haluro de plata con sección transversal triangular. La disposición de átomos en el cristal es rúbrica.

Base: Su principal función es **proporcionar una estructura rígida** que permita el posterior recubrimiento con la emulsión. Es una película delgada de **poliéster o acetato de celulosa**.

Emulsión: Es el corazón de la película de rayos X. Es el material con el cual los rayos X interaccionan y transfieren información. Es un gel de cristales microscópicos (mm) de **haluros de plata (AgBr, AgI)**

EMULSIÓN

- Es transparente y porosa
- Función (**Soporte mecánico** de los haluros de plata)
 - 98% → Bromuro de Plata
 - Resto → Yoduro de plata
- $Z_{Br} = 35$, $Z_{Ag} = 47$, $Z_I = 53$
- La gelatina y la base (para los dos, $Z \approx 7$).
- Los cristales de haluro de plata tabulares son planos y suelen tener un grosor de 0,1 mm
- $3Ag + 4HNO_3 \rightarrow 3AgNO_3 + NO + 2H_2O$ (Formación de Cristales)
- $AgNO_3 + KBr \rightarrow AgBr + KNO_3$ (AgBr sensible a la luz)

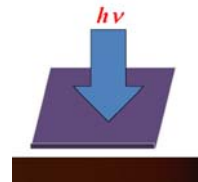
Recubrimiento: papel o plástico

Exposición-Activación

- Radiación incidente crea imagen latente (invisible) por reacción química.
- La energía causa disociación del AgBr liberando un electrón:



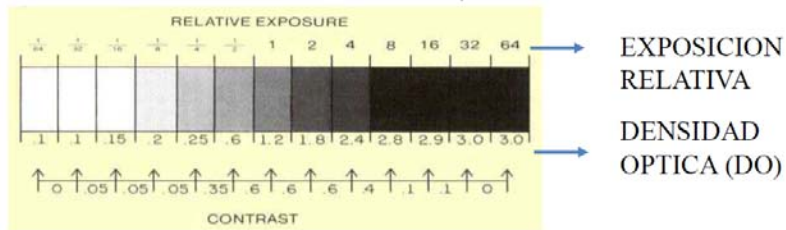
REVELADO



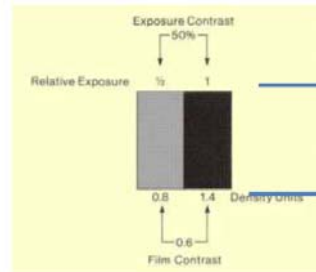
- Creación de imagen visible, por reacción química.
- Electrones liberados por líquido revelador neutralizan iones de Ag, localmente donde hubo radiación. Los granos de Ag (metálica) son visibles (negros).



Exposición y Contraste



CONTRASTE DE EXPOSICION Y CONTRASTE DE LA PELÍCULA

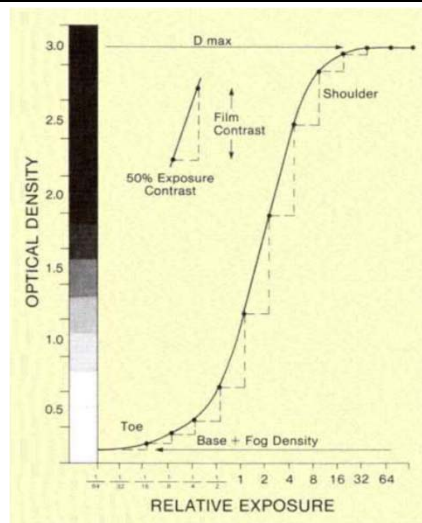


CONTRASTE DE EXPOSICION:

$$C_e = E_2 - E_1$$

CONTRASTE DE LA PELÍCULA:

$$C = DO_2 - DO_1$$



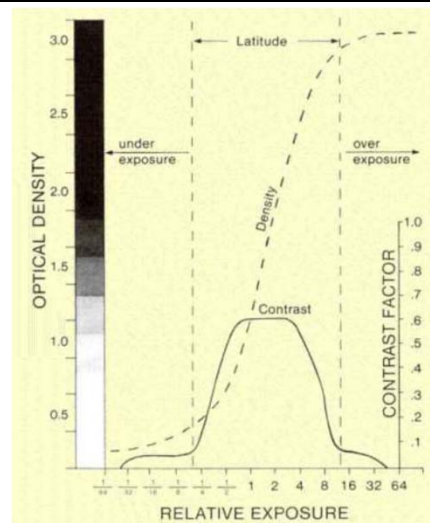
CURVA CARACTERISTICA

Respuesta = Densidad óptica (DO)

$$\text{Sensibilidad (S)} = \Delta(DO) / \Delta(E)$$

(pendiente de la curva)

$$\text{Contraste: } C = \alpha \times S$$



CURVA DE CONTRASTE

Latitud = Rango útil

Contraste derivada

$$\text{Factor de contraste} = C / C_e$$

Contraste de exposición = C_e

Contraste de la película = C

Características

VENTAJAS

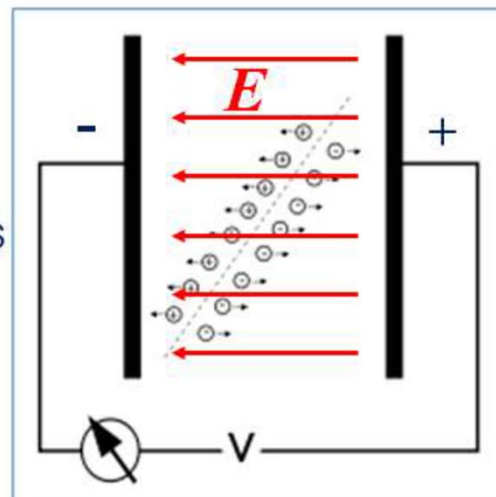
- Resolución espacial buena ($\sim 1 \text{ mm}$)
- Costo moderado
- Información permanente (después de lectura)
- Respuesta acumulativa
- Respuesta calibrable con intensidad, dosis, energía)

DESVENTAJAS

- Lectura / medición posterior (después de revelado)
- No reutilizables
- Información no digital (se puede digitalizar con densitómetro)
- Respuesta lenta
- Almacenamiento apilamiento + ambiente fresco)

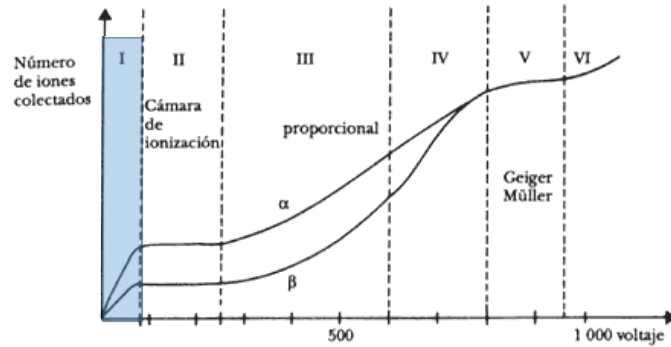
Detectores Gaseosos

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



1. Radiación incidente ioniza el gas.
2. Separación de iones (+ y -) por campo E .
3. Difusión de cargas hacia electrodos.
4. Formación de pulso (señal) eléctrico.
5. Procesamiento electrónico de la señal.
6. Reconstrucción de imagen por software.
7. Presentación y manejo de imagen.

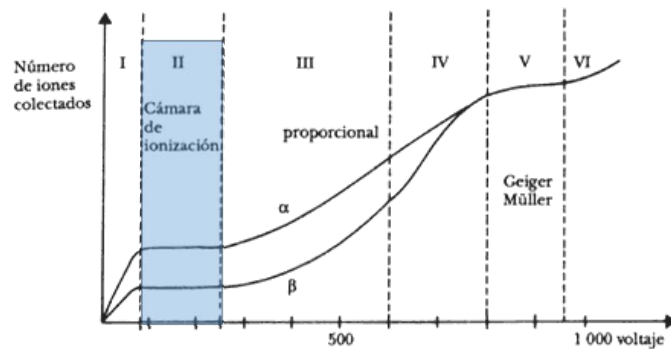
Región de Operación de un Detector Gaseoso



Región I.

- Bajo voltaje.
- Alta probabilidad de recombinación.
- Alta probabilidad de perder información.

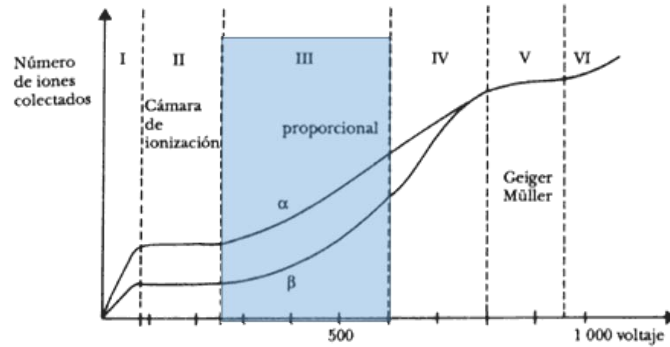
Región de Operación de un Detector Gaseoso



Región II.

- Iones colectados no depende del Voltaje.
- Baja probabilidad de recombinación y ionización secundaria.
- El tamaño del pulso depende de la ionización primaria.

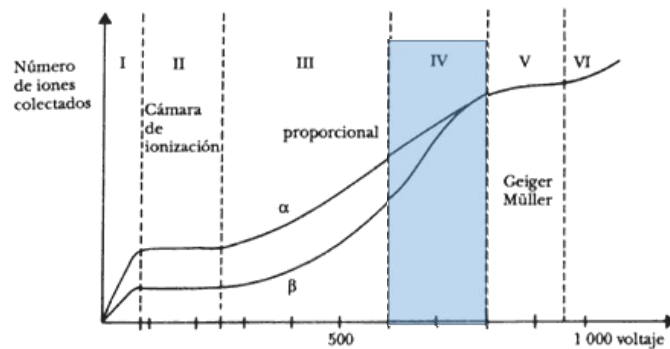
Región de Operación de un Detector Gaseoso



Región III.

- la carga colectada aumenta al incrementarse el voltaje.
- El aumento del voltaje genera ionización secundaria (**Multiplicación**).
- Mayor cantidad de pulsos, pero se conserva **la dependencia Energética**.

Región de Operación de un Detector Gaseoso



Región IV.

- Proporcionalidad imitada
- Zona muy inestable.
- Poco útil en la practica

CARACTERISTICAS

Sensibilidad: $S = dV_o/dI_i \rightarrow$ Cambio en la respuesta para un cambio en la intensidad de radiación.

Respuesta: $V_o(E) \rightarrow$ Respuesta útil para radiación incidente, con energía

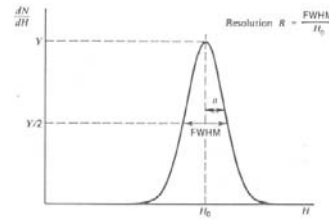
Función respuesta: Espectro de amplitud de respuesta para radiación monoenergética (respuesta al impulso).

Resolución

Energética: $\Delta E/E \rightarrow$ Mínima variación de energía distinguible (FWHM).

$$R = \frac{FWHM}{E_0}$$

Anchura a mitad de altura de una línea prefijada en energía dividida por la energía del centroide de la línea



Espacial: $\Delta x \rightarrow$ mínimo tamaño de detalle que se logra resolver. Función de transferencia de modulación. Se mide en líneas/mm.

Temporal: Tiempo de respuesta, tiempo muerto, tiempo de subida y de caída.

n: tasa real de eventos

m: tasa de impulsos registrados

$$n = \frac{m}{1 - m\tau}$$

Tiempo de resolución

Tiempo mínimo entre dos eventos para que ambos sean registrados separadamente.

Se debe a las características del detector y a la electrónica asociada.

Rango dinámico: Rango (de intensidad) útil de detección, desde umbral mínimo hasta saturación. En películas $\rightarrow$ curva de densidad óptica vs. dosis.

Ruido: Mínimo nivel detectable debido a variabilidad intrínseca de la señal (granularidad, ruido electrónico, cuántico, etc.). Relación Señal a Ruido (SNR).

Contraste: $CR = (I_o - I_b)/(I_o + I_b) \rightarrow$ habilidad de distinguir estructuras cercanas con μ similares, o un objeto respecto al fondo. Número tonos de gris entre blanco y negro. En imagen digital $\sim$ número de bits o profundidad.

- Imagen de bajo contraste $\rightarrow$ muchos tonos de gris $\rightarrow$ bordes suaves
- Imagen de alto contraste $\rightarrow$ pocos tonos de gris $\rightarrow$ bordes abruptos

Eficiencia: $(N_d / N_s) \times 100 \rightarrow$ % de fotones contados del total emitido por la fuente.
Eficiencia absoluta (geométrica) e intrínseca.

$$\varepsilon = \frac{N}{N_0} = \frac{\begin{array}{l} \bullet \text{ n}^\circ \text{ de sucesos detectados} \\ \bullet \text{ n}^\circ \text{ de sucesos ocurridos} \end{array}}$$

Eficiencia absoluta:

$$\varepsilon_{\text{abs}} = \frac{\text{n}^\circ \text{ impulsos registrados}}{\text{n}^\circ \text{ de partículas o fotones emitidos}}$$

Eficiencia intrínseca:

$$\varepsilon_i = \frac{\text{n}^\circ \text{ impulsos registrados}}{\text{n}^\circ \text{ de partículas o fotones que llegan al detector}}$$